Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 427-438

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۴۳۸-۴۲۷

ارزیابی ساختاری و عملکردی یک دستگاه گرده‌پاش مخصوص نخلستان

فرید اخوان[1]- سعادت کامگار[2*]- علی اکبر گلنشان[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۶

چکیده

در این پژوهش یک دستگاه گرده‌پاش برای بارورسازی نخل‌های با ارتفاع تنه‌ی ۴ تا ۹ متر طراحی شد. این گرده‌پاش سبک و قابل حمل شامل یک داکتدفن، کنترل‌کننده‌ی سرعت، سرووتستر و یک بوم فیبر کربن است که بدنه‌ی اصلی دستگاه در بالای بوم و کنترل‌کننده‌ی سرعت و سرووتستر و باتری در پایین بوم تعبیه شده است. به‌منظور ارزیابی میدانی، دستگاه در منطقه‌ی خور در استان اصفهان و روی رقم کبکاب آزمایش گردید. این آزمایش شامل ۱۸ درخت در شش تیمار (پنج تیمار مکانیکی در مقایسه با روش سنتی به‌عنوان تیمار کنترل) در قالب یک طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت. بازدهی بارورسازی و میوه‌نشینی در شش تیمار اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن مشخص نمود که تولید محصول تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت و بنابراین به‌دلیل سادگی و سرعت بالای کار و نداشتن خطر جانی برای کارگر، می‌توان روش مکانیکی را به‌عنوان روش جایگزین توصیه کرد. در این ارزیابی میدانی از آرد ماکارونی به‌عنوان پرکننده استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: کبکاب، گرده‌پاشی، میوه‌نشینی، نخل خرما

مقدمه

خرما یک درخت دو پایه‌ی دائمی است. نخل‌های ماده در سه تا پنج سالگی (و گاهی تا بیست سالگی) (Dowson, 1982) به گل می‌نشینند و باید گرده از درخت نر به گل‌های آن منتقل شود تا میوه تشکیل گردد. در کشت تجاری برای هر ۴۰ تا ۵۰ درخت ماده یک درخت نر کشت می‌شود و بنابراین به دلیل مسافت زیاد، باروری توسط باد به‌خوبی صورت نمی‌گیرد. در بسیاری از نقاط جهان حشرات نیز بارورسازی خرما را انجام نمی‌دهند (Robinson *et al.*, 2012). بنابراین نیاز به تلقیح مصنوعی در نخلستان‌های تجاری یک ضرورت است که از زمان‌های بسیار دور انجام می‌شده است (Dowson, 1982). از طرف دیگر منابع گرده در سال‌های اخیر محدود شده و قیمت آن بالا رفته است (Mostaan, 2014) و بنابراین مصرف بهینه و به اندازه‌ی گرده اهمیت بیشتری یافته است. در روش سنتی برای تلقیح ۸ نفر نخل ۱۰۰ گرم گرده مصرف می‌شود (Ghazanfari *et al.*, 2012) در حالی‌که در گرده‌پاشی مکانیزه این مقدار گرده برای باروری ۴۰ نفر (Brown *et al.*, 1970) تا ۲۰۰ نفر (پژوهش حاضر) نخل کافی است.

از آنجا که جوانه‌ی انتهایی در نخل نقش حیاتی دارد و چنانچه قطع گردد نخل پس از مدتی می‌میرد (Dowson, 1982)، امکان هرس آن وجود ندارد و ارتفاع آن سال به سال افزایش می‌یابد. به همین دلیل بسیاری از نخل‌های بارور که تولید اقتصادی دارند دارای ارتفاع زیادی هستند و تلقیح آنها از دیرباز یکی از دغدغه‌های خرماکاران بوده است. تا حدود ۵۰ سال قبل بارورسازی فقط به روش سنتی انجام می‌شد (Haffar *et al.*, 1997) که متداول‌ترین روش آن، قرار دادن دو یا سه عدد از خوشک‌های گل نر به‌طور وارونه در میان خوشک‌های گل ماده است (ZaidDe Wet, 1999). در چند دهه‌ی گذشته تلاش‌های زیادی برای ساخت دستگاهی که بتواند باروری نخیلات را بدون بالا رفتن کارگر از درخت انجام دهد، انجام شده است. دستگاه‌های ساخته شده به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

الف) دستگاه‌هایی که از هوای فشرده استفاده می‌کنند مانند دستگاه‌های ساخته شده توسط پرکینز و براوون (Brown and Perkins, 1972)، لغوی (Loghavi, 1993) و دستگاه pollen atomizer ساخت امارات متحده (teeba.ae, 2017) است.

ب) دستگاه‌هایی که از هوای کم‌فشار استفاده می‌کنند مانند دستگاه‌های ساخته شده توسط الراوی (Al-Rawi, 1988)، حفار (Haffar, 1999) و مستعان (Mostaan *et al.*, 2010).

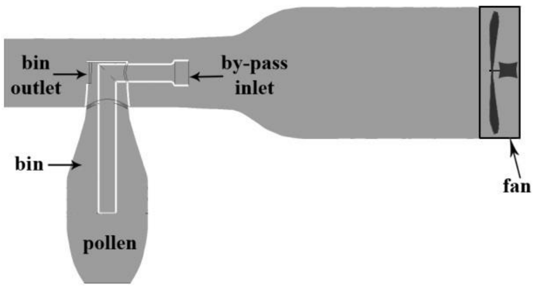
به‌دلیل اینکه زمان بارورسازی کوتاه است و تعداد کارگران ماهر اندک، باروری تمامی نخیلات، خصوصاً در مناطقی که بیشتر نخل‌ها مسن و بلند هستند کاری دشوار، پرخطر و پرهزینه است. با وجود تلاش‌های انجام شده و ساخت چند نمونه دستگاه، متاسفانه به‌دلیل عدم وجود گرده‌پاش سبک و قابل حملی که عملاً بتواند در مزارع

۱- دانشجوی دکترای بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲- استادیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۳- دانشیار، بخش مکانیک حرارت و سیالات، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: kamgar@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v9i2.68916

کوچک و غیرمکانیزه مورد استفاده قرار بگیرد، هنوز در اکثر مزارع از روش سنتی استفاده می‌شود. بعضی دستگاه‌های گزارش شده تحقیقاتی بوده‌اند (مانند دستگاه لغوی) و برخی دیگر دارای معایبی مانند وزن زیاد هستند (مانند دستگاه pollen atomizer که ۱۳۰kg وزن دارد) و یا مخصوص مزارع مکانیزه طراحی شده‌اند (مانند دستگاه ساخت پرکینز). در ساخت گرده‌پاش حاضر تلاش شده تا با استفاده از فناوری‌های نوین، معایب فوق تا حد امکان رفع گردد. در این نوشتار، طرح و ساختار یک دستگاه گرده‌پاش الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته و چگونگی اتصال فن و سیستم راه‌انداز آن، قطر و طول سیم‌های اتصال و نیروهای وارد به بوم و دست کاربر در حالات مختلف بررسی گردیده است. همچنین نحوه‌ی ارزیابی میدانی دستگاه و نتایج آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

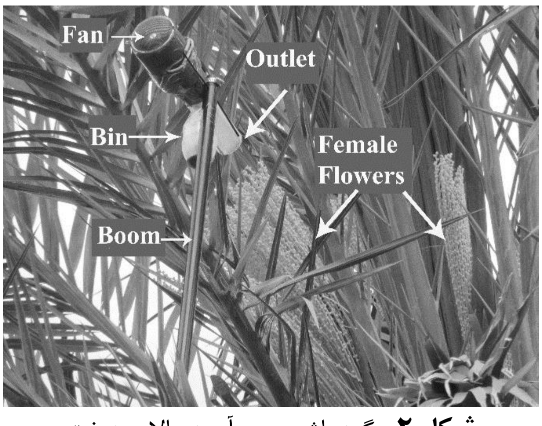
مواد و روش‌ها

شکل‌های ۱، ۲ و ۳ گرده‌پاش ساخته شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. طرز کار دستگاه به این صورت است که فن، جریان هوایی با حجم زیاد ایجاد می‌کند ($1620\ l.min^{-1}$) که مقداری از آن وارد لوله‌ی کنارگذر می‌شود. با تنگ شدن لوله‌ی کنارگذر، سرعت جریان در آن زیاد می‌شود و به سطح گرده‌ی داخل مخزن برخورد می‌کند و آن را معلق می‌سازد. از طرف دیگر با عبور هوا از گلویی (ونتوری) سرعت آن افزایش یافته، فشار آن افت می‌کند. افت فشار باعث می‌شود که گرده‌ی معلق شده در مخزن به طرف بالا کشیده شده و از خروجی مخزن به جریان هوای اصلی وارد شود و گرده به همراه جریان هوا به سمت درخت پرتاب گردد. این گرده‌پاش با هدف گرده‌پاشی تاجی (پخش گرده روی کل تاج درخت به‌صورت هم‌زمان) طراحی شده است.



شکل ۱- گرده‌پاش و قسمت‌های مهم آن

Fig.1. Pollen duster and its important parts



شکل ۲- گرده‌پاش و بوم آن در بالای درخت

Fig.2. Pollen duster and its boom on top of the tree



شکل ۳- گرده‌پاش با بوم استاندارد ۶ متری
Fig.3. Pollen duster with its standard (6m) boom

دستگاه در حالت استاندارد برای درختان با ارتفاع تنه‌ی از حدود ۴ تا کمی بیش از ۷ متر طراحی شد ولی امکان گرده‌پاشی درختان با تنه‌ی ۹ متر نیز مد نظر قرا گرفت. از آنجا که محصول درختان بلندتر از این ارتفاع که غالبا کهنسال و کم‌محصول نیز هستند، جبران مشکلات و خطرات آنها را نمی‌کند در بیشتر مناطق این درختان رها می‌شود یا قطع می‌گردند. به همین دلیل دو اندازه‌ی بوم برای دستگاه در نظر گرفته شد. بوم استاندارد، ۶m و بوم بلند، ۷/۷m در نظر گرفته شد که با احتساب قد کاربر ارتفاع‌های مذکور را پوشش می‌دهد. چون دستگاه می‌تواند در حالت شیب‌دار نیز کار کند، برای درختانی که حدود ۲ متر از ارتفاع متوسط نخلستان کوتاه‌تر هستند می‌توان بوم را بدون تغییر طول به حالت شیب‌دار در آورد.

اولین فاکتوری که برای کار در ارتفاع باید مد نظر قرار گیرد وزن دستگاه است زیرا با اندکی افزایش وزن دستگاه، به علت زیاد بودن طول بوم، نیروی وارد به دست کاربر افزایش قابل توجهی خواهد داشت. بنابراین در مراحل طراحی و ساخت دستگاه معیار سبک بودن در اولویت قرار داشت و در همین راستا و با توجه به وزن سیستم‌های قبلی، در ساخت گرده‌پاش جدید بنا بر این گذاشته شد که وزن نهایی دستگاه زیر ۲۰۰ گرم باشد.

فن و سازوکار راه‌انداز آن

فن‌های جریان مستقیم معمولی توان پایین و وزن زیادی دارند که ضمن بالا بردن وزن، قادر به تأمین جریان هوای لازم برای کار دستگاه نیستند و فقط داکتدفن[1]های به‌کار رفته در پهپادها برای این منظور مناسب تشخیص داد شد که می‌توانست نیازهای دستگاه را برآورده سازد. داکتدفن شامل یک موتور الکتریکی، یک فن و قاب دور فن می‌باشد که در نوع به‌کار رفته در تجهیزات هوایی، شکل قاب یا داکت بسیار دقیق طراحی می‌گردد تا بهترین جریان توسط فن ایجاد گردد. داکتدفن انتخاب شده برای دستگاه دارای موتور بدون جاروبک[2] بوده و با داشتن ۷۰ گرم وزن کل، حدود ۹۰ وات توان دورانی تولید می‌کند. این داکتدفن‌ها نیاز به سیستم راه‌انداز ویژه‌ای دارند که شامل یک کنترل‌کننده‌ی سرعت[3] و یکی از دو سیستم سرووتستر و یا رادیو کنترل است. در پهپادها فاصله‌ی این اجزا بسیار کم بوده و به‌راحتی به هم متصل می‌شوند، اما در گرده‌پاش حاضر با هدف کاهش وزن انتهایی و کاهش نیروی وارد بر بوم و دست کاربر، باتری در پایین بوم قرار داده شد، زیرا باتری به تنهایی بیش از ۲۰۰ گرم وزن داشت.

در حالت اول که در شکل ۴-A دیده می‌شود، یک کنترل‌کننده‌ی سرعت سبک ۲۰ آمپری و سرووتستر در کنار فن قرار گرفته و سیستم با کلیدی از پایین بوم روشن و خاموش شود. مزیت این طرح در این است که دو رشته سیم در طول بوم وجود دارد و بنابراین بوم سبک‌تر خواهد بود اما این چیدمان در دو نقطه با مشکل مواجه شد. اول اینکه ولتاژ باتری (۱۲V) در طول ۸ متر سیم با افت شدید مواجه شد به‌طوری‌که دور نهایی فن حتی قادر به بلند کردن گرده داخل مخزن هم نبود و دوم اینکه در این حالت باید برای راه‌اندازی سرووتستر یک مکانیسم مجزا طراحی می‌گردید زیرا سرووتستر همیشه باید از دور صفر به دور مورد نظر برسد و نمی‌توان آن را در دور مورد نظر ثابت نموده و در بالای بوم قرار داد. راه‌کار بعدی افزایش فاصله بین کنترل‌کننده‌ی سرعت و موتور بود. در این طرح کنترل‌کننده‌ی سرعت و سرووتستر و باتری در پایین بوم و فقط فن در بالا قرار داشت. این چیدمان که در شکل ۴-B دیده می‌شود به خوبی فاصله بین فن و تجهیزات راه‌اندازی را پوشش داد. با مشخص شدن چیدمان، نیروی وارد بر دست کاربر نیز در حالات مختلف محاسبه گردید. از آن جهت

1- Ducted fan
2- Brushless
3- Speed control

که در هنگام بلند کردن بوم از وضعیت افقی بایستی تا حد ممکن نیروی کمتری به دست کاربر وارد شود، این محاسبه اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

انتخاب پرکننده[1]ی مناسب

کارپنتر (Carpenter, 1981) گزارش کرده که مخلوط کردن گرده با آرد و ۱۰٪ ساکارز بازده گرده را بالا می‌برد. محققانی که روی گرده‌پاش‌های مکانیکی کار کرده‌اند اغلب از مخلوط‌های مختلف گرده و آرد استفاده کرده‌اند (Al-Wusaibai *et al.*, 2012; El-Kassas and Mahmoud, 1986; ElMardi *et al.*, 2002). مخلوط کردن گرده با آرد این فرصت را به کاربر دستگاه می‌دهد که مقادیر کم گرده را در جهات مختلف پخش کرده و پوشش بهتری ایجاد نماید. از طرف دیگر مخلوط کردن گرده با آرد به نسبت مثلاً ۱:۱۰ موجب ۱۱ برابر شدن وزن و حجم مخلوط گردیده، با حجم ثابت مخزن، مخلوط گرده و آرد نسبت به گرده خالص تعداد کمتری درخت را بارور می‌سازد. بنابراین باید از نسبت بهینه‌ای از گرده و آرد استفاده شود. در زمان ساخت دستگاه مشخص گردید که آرد سفید، که در گزارش پژوهش‌های پیشین به‌عنوان پرکننده با گرده مخلوط شده بود، حالت چسبندگی زیادی دارد و مشابه گرده عمل نمی‌کند. با توجه به اینکه خروج یکنواخت آرد از مخزن یکی از فاکتورهای مهم در کارایی دستگاه به‌شمار می‌رفت، باید این معضل رفع می‌گردید. در گام نخست برای مشخص شدن اندازه‌ی ذرات از غربال‌های استاندارد استفاده شد. چون گرده از مش ۱۴۰ به‌خوبی عبور می‌کرد برای انتخاب پرکننده‌ی مناسب، سه مش ۸۰، ۱۴۰ و ۲۳۰ به‌کار گرفته شد تا ماده‌ی انتخابی توسط این غربال‌ها یکنواخت گردد. نتایج این آزمایشات مغشوش و گاهی متناقض بود که دلیل آن عدم آگاهی از این واقعیت بود که جداسازی و یکنواخت کردن ذرات توسط غربال‌های استاندارد فقط برای ذرات بیش از ۵۰ میکرون عملی و موثر است (Nielsen, 2010). چون شواهد نشان می‌داد که اندازه‌ی ذرات گرده و پرکننده‌ها کمتر از این مقدار است، می‌بایست از تصویربرداری الکترونی بهره گرفته می‌شد. برای بررسی مورفولوژی ذرات گرده و آردهای مورد استفاده در این پروژه از میکروسکوپ الکترونی روبشی ساخت Seron Technologies مدل AIS-2100 استفاده شد.

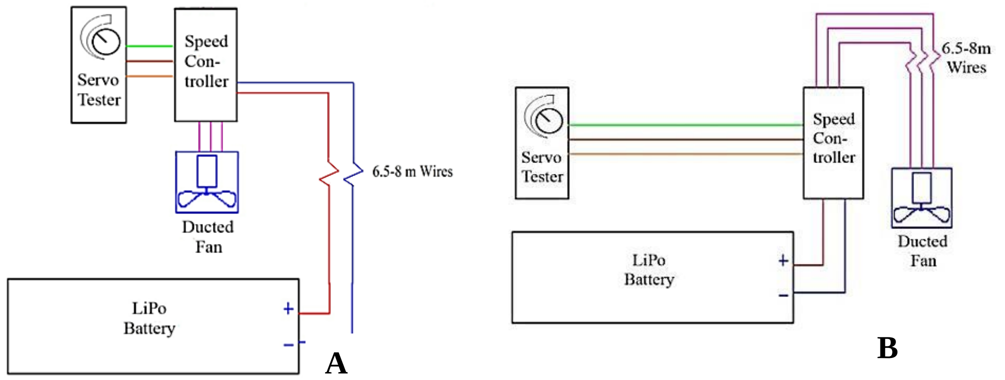
ارزیابی میدانی دستگاه

به منظور آزمایش کارایی این دستگاه، آزمایشاتی در منطقه‌ی خور در استان اصفهان روی رقم کبکاب انجام شد. این منطقه با طول و عرض جغرافیایی ۳۳°،۴۶'،۵۶"N و ۵۵°،۶'،۵"E و ارتفاع ۸۲۶m از سطح دریا در حاشیه‌ی کویر قرار گرفته است. در این منطقه تلقیح از اواسط فروردین شروع و تا اواسط اردیبهشت ادامه می‌یابد. آزمایشات روی ۱۸ درخت در شش تیمار و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. درختان باغ تقریباً هم‌سن بوده و از آبیاری و کوددهی یکسان استفاده می‌کردند. درختان مورد آزمایش به‌طور تصادفی از بین آنها انتخاب شد. همچنین درختان برای جلوگیری از تداخل گرده در کنار هم انتخاب نگردید. از آنجا که طراحی دستگاه به‌گونه‌ای است که گرده را روی کل تاج درخت پخش کرده و تمام خوشه‌ها را هم‌زمان پوشش می‌دهد، نمی‌توان تیمارهای متفاوت را روی یک درخت به‌صورت بلوک در کنار هم قرار داد. تیمارهای به‌کار رفته در آزمایش در جدول ۱ آمده است.

برای دقت وزنی آزمایش، ماده مورد نیاز هر تیمار برای هر درخت، جداگانه با ترازویی با دقت یک صدم گرم، وزن شده و در مخزن ریخته می‌شد و دستگاه تا خالی شدن مخزن روشن می‌ماند. در تیمارهایی که می‌بایست پرکننده‌ای به همراه گرده پخش می‌گردید، از آرد ماکارونی استفاده گردید. نسبت اختلاط ۱ گرم گرده به ۳ گرم آرد بود. گرده‌پاشی در تیمارهای مکانیکی سه بار تکرار گردید که دلیل آن تلقیح خوشه‌هایی بود که در مرحله‌ی قبل بسته بوده‌اند. به علت پایین بودن دما، رشد درختان در اوایل بهار در این منطقه کند بوده و تکرار گرده‌پاشی باید به‌صورت هفتگی انجام می‌شد. به‌منظور یکنواخت بودن پاشش در همه‌ی درختان، پاشش زمانی انجام می‌شد که هوا آرام باشد و همچنین سعی شد فاصله‌ی دهانه‌ی خروجی دستگاه تا درخت، موقعیت قرارگیری دهانه‌ی خروجی و وضعیت کاربر در هنگام گرده‌پاشی یکنواخت باشد.

پس از تلقیح گل و تشکیل میوه، رسیدن میوه در چند مرحله انجام می‌شود. در مرحله‌ی کیمری، میوه دارای رنگ سبز بوده و هسته‌ی آن سفید می‌باشد. همچنین وزن، اندازه و میزان قندهای احیاکننده افزایش یافته و میزان اسیدیته و رطوبت میوه در حد بالایی است. سپس در مرحله‌ی خلال رنگ میوه بسته به رقم، به زرد یا قرمز تغییر می‌یابد و افزایش وزن به کندی صورت می‌گیرد ولی مقدار ساکارز افزایش یافته و میزان رطوبت کم می‌شود. در مرحله‌ی رطب بافت میوه نرم شده و رنگ آن به قهوه‌ای یا سیاه تغییر می‌یابد. در صورتی‌که میوه روی درخت باقی بماند، مقدار رطوبت آن کاهش یافته و به تمار تبدیل می‌شود (Khodabakhshian and Emadi, 2016). هشت هفته پس از پایان تلقیح، در مرحله‌ی کیمری، میوه‌های عادی، غیر عادی (دو و سه برچه‌ای) و افتاده از تعدادی خوشه‌های تصادفی هر درخت شمارش و ثبت شد. در مرحله‌ی کیمری و تمار از هر تیمار ۱۵ میوه به‌صورت تصادفی جدا شد و وزن گردید.

1- Filler



شکل ٤- سازوکار راه‌اندازی فن

Fig.4. Fan and its initiation system

جدول ۱- تیمارهای ارزیابی میدانی دستگاه

Table 1- Treatments for evaluation test

Treatment تیمار	Treatment No. شماره تیمار	Explanation توضیحات
Tr	1	Traditional pollination with 3-4 male strands (Control) روش سنتی- قرار دادن ۳تا۴ خوشه‌چه نر در خوشه‌ی ماده (شاهد)
0.5P	2	0.5 g pollen in each replication ۰/۵ گرم گرده در هر تکرار
0.5F	3	0.5 g pollen blended with 1.5 g pasta flour in each replication ۰/۵گرم گرده مخلوط با ۱/۵ گرم آرد ماکارونی در هر تکرار
1.5P	4	1.5 g pollen in each replication ۱/۵ گرم گرده در هر تکرار
1.5F	5	1.5 g pollen blended with 4.5 g pasta flour in each replication ۱/۵ گرم گرده مخلوط با ۴/۵ گرم آرد ماکارونی در هر تکرار
2.5P	6	2.5 g pollen in each replication ۲/۵ گرم گرده در هر تکرار

برای بررسی اثر تیمارهای مختلف گرده‌پاشی سه فـاکتور تعریـف گردید:

الف: بازدهی بارورسازی (η_{pl}):

$$\eta_{pl}=NF/TF \quad (۱)$$

که در این رابطه NF تعداد میوه‌های طبیعی (حاصل از گل‌های لقاح‌یافته) و TF تعداد کل میوه‌هاست.

ب: بازده میوه نشینی (η_{fs})، بر طبق آنچه مستعان تعریف نموده از رابطه (۲) به‌دست می‌آید (Mostaan, 2014):

$$\eta_{fs}=NF/TFS \quad (۲)$$

در این رابطه TFS تعداد کل محل‌های میوه روی خوشه‌چه می‌باشد و بنابراین ریزش میوه‌ها نیز در این فاکتور منظور می‌گردد. تعداد میوه‌های افتاده از نقاط سیاه باقیمانده روی خوشه‌چه به‌دست می‌آید (Shafique *et al.*, 2011).

ج: شاخص مصرف گرده، قبلاً در مقالات بررسی نشده بود و برای اولین بار ارائه گردید. هدف از ارائه و محاسبه‌ی این شاخص این بود که مشخص شود گرده‌ی مصرفی در هر تیمار تا چه اندازه در تولید محصول موثر بوده است. شاخص مصرف گرده به این شکل تعریف گردید:

$$I_p= \eta_{fs} / P_t \quad (۳)$$

که در آن η_{fs} بازده میوه‌نشینی و P_t کل گرده‌ی مصرفی برای هر درخت در تمام تکرارها می‌باشد. بر اساس این تعریف، شاخص در تیماری بالاتر است که در عین مصرف کم گرده، میوه‌ی بیشتری تولید نموده باشد. این شاخص می‌تواند در اقتصاد تولید نقش مهمی ایفا کرده، از مصرف گرده‌ی اضافی جلوگیری می‌نماید.

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده، با نرم‌افزار SPSS انجام شد برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

محاسبات مربوط به سیم‌ها و سازوکار راه‌اندازی فن

سیم‌هایی که به منظور اتصال فن به سیستم راه‌انداز در داخل بوم قرار می‌گیرد باید تا حد ممکن سبک باشد زیرا حدود ۲۵٪ وزن کل دستگاه را به خود اختصاص می‌دهد. چنانچه از سیم ۲/۵mm^2 در سرتاسر بوم استاندارد (حدود ۶m) استفاده می‌شد، سه رشته‌ی آن به همراه فیش‌های دو سر آن ۶۱۵ گرم وزن داشت. از آنجا که بیشترین نیرو در حالت افقی بوم (هنگام بلند کردن آن) ایجاد می‌شود، محاسبات برای این حالت انجام گردید. برای محاسبه‌ی نیروی وارد شده به دست کاربر، فاصله‌ی دست راست (تکیه‌گاه) و دست چپ کاربر l_3=۵۰cm فرض می‌شود (شکل ۵). بنابراین وزن ۵/۵m سیم (۵۶۴g) در محاسبات منظور شده و از وزن قسمت پایین بوم صرف‌نظر می‌گردید. نیروی ایجاد شده توسط سیم ۲/۵ در انتهای بوم استاندارد، در نبود نیروی F_2 با توجه به تعادل بوم برابر است با ۳۰/۴N (رابطه ۴).

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F_1 \times L_1 + F_3 \times L_3 = 0 \Rightarrow F_3 = \frac{F_1 \times L_1}{L_3} = \frac{0.564 \times 9.81 \times 2.75}{0.5} = 30.4\,N \quad (۴)$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F_1 \times L_1 - F_2 \times L_2 + F_3 \times L_3 = 0 \quad (۵)$$

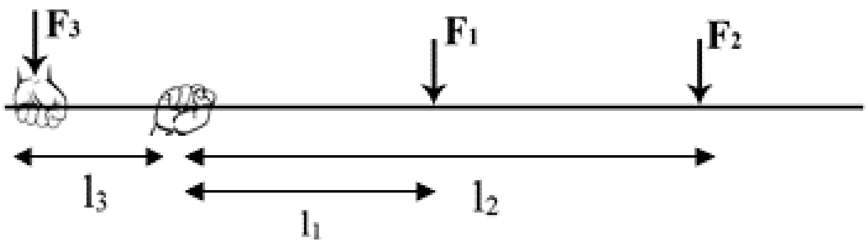
$$\Rightarrow F_3 = \frac{F_1 \times L_1 + F_2 \times L_2}{L_3} = \frac{0.256 \times 9.81 \times 1.25 + 0.183 \times 9.81 \times 4}{0.5} = 20.6\,N$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F \times L + F_3 \times L_3 = 0 \Rightarrow F_3 = \frac{F \times L}{L_3} = \frac{0.330 \times 9.81 \times 5.5}{0.5} = 35.6\,N \quad (۶)$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F_1 \times L_1 - F_2 \times L_2 + F_3 \times L_3 = 0 \quad (۷)$$

$$\Rightarrow F_3 = \frac{F_1 \times L_1 + F_2 \times L_2}{L_3} = \frac{0.461 \times 9.81 \times 2.1 + 0.183 \times 9.81 \times 5.7}{0.5} = 39.4\,N$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F \times L + F_3 \times L_3 = 0 \Rightarrow F_3 = \frac{F \times L}{L_3} = \frac{0.330 \times 9.81 \times 7.2}{0.5} = 46.6\,N \quad (۸)$$



شکل ۵- نیروهای وارد از طرف سیم‌ها به دست کاربر

Fig.5. Forces on operator hand due to wires weight

سیم ۱/۵ به علت مقاومت بالا و افت ولتاژ، در طول ۶ متر قادر به راه‌اندازی فن نیست و از طرف دیگر استفاده از سیم ۲/۵ در سرتاسر بوم نیروی زیادی به دست کاربر و ساختار بوم وارد می‌سازد. بنابراین در قسمت بالای بوم که از نظر ایجاد نیرو روی دست کاربر و ایجاد خمش در بوم اهمیت بیشتری دارد از سیم ۱/۵mm^2 استفاده گردید. با اتصال ۳ متر سیم ۱/۵ و ۳ متر سیم ۲/۵ به همدیگر وزن سیم به ۴۹۰ گرم کاهش یافت (۱۸۳ گرم سیم ۱/۵ و ۳۰۷ گرم سیم ۲/۵) که با کم کردن وزن نیم متر انتهایی سیم ۲/۵، نیروی انتهایی بوم همانطور که در رابطه (۵) نشان داده شده است بیش از ۳۳ درصد کاهش یافته است.

اگر به‌جای سیم از رادیوکنترل استفاده شود و باتری، کنترل‌کننده‌ی سرعت و گیرنده[1]‌ی رادیوکنترل در کنار فن در انتهای بوم قرار گیرد، با توجه به اینکه وزن این سه قطعه حدود ۳۳۰ گرم است (باتری ۲۹۰ گرم، کنترل‌کننده‌ی سرعت ۲۰ آمپر ۳۰ گرم و گیرنده ۱۰ گرم) گشتاور ایجاد شده برابر ۳۵/۶ N خواهد بود (رابطه ۶).

در حالت بوم امتدادیافته از ۴/۷ متر سیم ۲/۵ و ۳ متر سیم ۱/۵ استفاده می‌شود که نیروی انتهای بوم بر اساس رابطه‌ی (۷) برابر خواهد بود با ۳۹/۴ N.

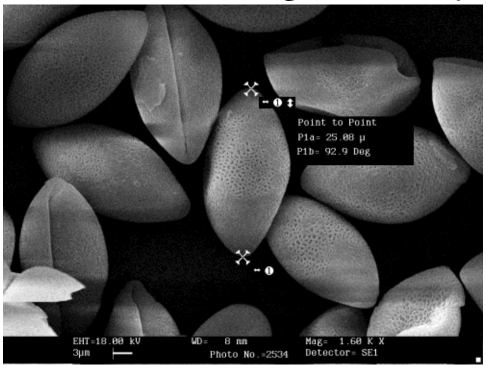
1- Receiver

در حالت بوم امتدادیافته اگر از گیرنده و رادیو کنترل استفاده شود، گشتاور انتهای بوم مطابق رابطه‌ی (۸) برابر خواهد بود با ۴۶/۶ N.

بنابراین در این حالت نیز رادیوکنترل حدود ۱۸ درصد نیروی بیشتر ایجاد می‌نماید. با توجه به هزینه‌ی رادیوکنترل و وجود باتری جداگانه در پایه‌ی آن که مساله شارژ یا تعویض آنها نیز باید در نظر گرفته شود، استفاده از آن در هیچ حالتی مناسب نیست.

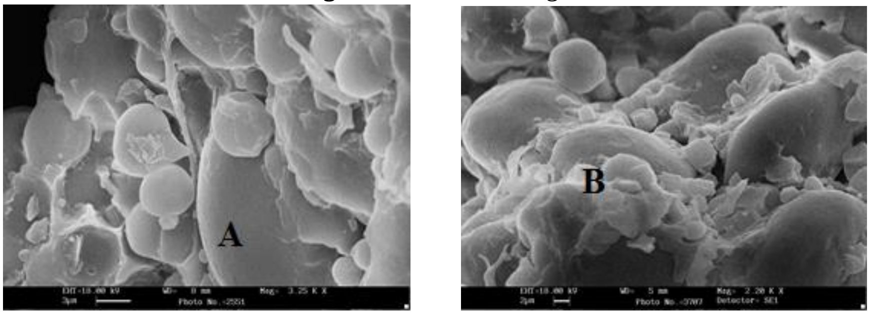
نتایج انتخاب پرکننده‌ی مناسب

عکس گرفته شده از گرده توسط دستگاه SEM در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که گرده‌ها تقریباً اندازه‌ی یکسانی دارند (طول حدود ۲۵ میکرون و پهنای حدود ۱۳ میکرون) و به‌صورت ذرات مجزا قابل تشخیص هستند یعنی چسبندگی بین ذرات آن کم است. آرد سفید نیز مورد عکس‌برداری قرار گرفت و مشخص شد که ذرات آن به شکل تکی نیستند هرچند اندازه‌ی ذرات همان‌طور که در شکل ۷–A دیده می‌شود بسیار ریز است (حدود ۳ تا ۵ میکرون) اما به دلیل توده شدن آنها همانطور که در عکس‌ها دیده می‌شود، از مش ۱۴۰ نیز عبور نمی‌کرد.



شکل ٦– تصویر SEM گرده

Fig.6. Pollen SEM image



شکل ۷– تصویر SEM آرد سفید (A) و آرد ماکارونی (B)

Fig.7. SEM images from white flour (A) and pasta flour (B)

برای یافتن پرکننده‌ی مناسب، پس از آزمایش ناموفق آرد سفید، آرد سبوس برنج و نشاسته‌ی ذرت، آرد ماکارونی مشخصات فیزیکی خوبی از خود نشان داد. زاویه لغزش[1] آرد سفید، آرد ماکارونی و گرده به‌ترتیب ۴۴/۹، ۴۰/۷ و ۳۸ درجه اندازه‌گیری شد. بر اساس آنچه بومنز ذکر کرده هر سه ماده در طبقه‌ی جریان‌پذیری خوب[2] قرار می‌گیرند (Boumans, 1985) اما آرد ماکارونی نسبت به آرد سفید به گرده نزدیک‌تر است. آزمایشات اولیه نشان داد که این آرد در مخزن دستگاه به‌خوبی حرکت کرده و جابه‌جا می‌شود. در گام بعد از آرد ماکارونی نیز عکس‌برداری SEM صورت گرفت (شکل ۷–B) تا میزان هم‌خوانی اندازه‌ی ذرات آن با گرده مشخص گردد. هرچند ذرات این آرد مانند گرده به‌صورت تکی و هم‌اندازه نیستند اما غالب بودن ذرات درشت باعث حرکت روان آن گردیده است. اندازه‌ی ذرات کروی درشت آن حدود ۱۸ میکرون است (در مقابل ذرات غالب ۵ میکرونی آرد سفید) که تا حد زیادی به میانگین طول و عرض گرده نزدیک است و می‌تواند همراه خوبی برای ذرات گرده باشد بدون اینکه در مراحل مختلف مخلوط کردن، پرکردن مخزن، معلق شدن در مخزن و پرتاب به سمت درخت از آن جدا شود و جریان سه فازی هوا، آرد و گرده ایجاد نماید.

1- Repose angle
2- Fair flowing

نتایج ارزیابی میدانی

نتایج تجزیه واریانس میانگین بازده‌های بارورسازی و میوه‌نشینی در جدول ۲ آورده شده است. جدول ۳ میانگین بازده‌های بارورسازی و میوه‌نشینی تیمارهای مختلف را در مقایسه با تیمار سنتی در رقم کبکاب نشان می‌دهد. نتایج آزمون آماری نشان داد که همه‌ی تیمارهای گرده‌پاشی شده در بازدهی گرده‌پاشی و بازدهی میوه‌نشینی از نظر آماری با تیمار سنتی برابر و بدون تفاوت معنی‌دار هستند. نداشتن تفاوت معنی‌دار در میوه‌نشینی، به معنای آن است که گرده‌پاش گرده‌ی کافی را در زمان مناسب تامین نموده است (Mostaan, 2014). الووسایبای و همکاران (Al-Wusaibai *et al.*, 2012) گرده‌پاشی مکانیکی را به دلیل بازده بالا و عیوب روش سنتی مانند بالابودن هزینه‌ی کارگری و زمان‌بر بودن، توصیه نموده‌اند. در این‌صورت و در نظر گرفتن خطر جانی در روش سنتی، می‌توان دستگاه گرده‌پاش را جایگزین مناسبی برای روش سنتی دانست.

جدول ۲- تجزیه واریانس بازدهی گرده‌افشانی و میوه‌نشینی تیمارهای مورد آزمایش

Table 2- Analysis of variance of Pollination and fruit-set efficiencies

		Sum of squares مجموع مربعات	Df درجه آزادی	Mean square میانگین مربعات	F	Sig. معناداری
Pollination Eff. بازده بارورسازی	Treatment تیمار	.001	5	.000	1.025	0.445
	Error خطا	.004	12	.000		
	Total کل	.005	17			
Fruit-set Eff. بازده میوه‌نشینی	Treatment تیمار	.029	5	.006	1.166	0.380
	Error خطا	.059	12	.005		
	Total کل	.088	17			

جدول ۳- بازده بارورسازی، میوه‌نشینی و شاخص مصرف گرده برای تیمارهای مورد آزمایش

Table 3- Pollination and fruit-set efficiencies and pollen consumption index of treatments

Treatment تیمار	η_{pl} بازده بارورسازی	η_{fs} بازده میوه نشینی	I_p شاخص مصرف گرده
Tr	0.98[a]	0.59 [a]	…
0.5P	0.99 [a]	0.68 [a]	0.45
0.5F	0.97 [a]	0.61 [a]	0.41
1.5P	0.97 [a]	0.68 [a]	0.15
1.5F	0.96 [a]	0.70 [a]	0.15
2.5P	0.99 [a]	0.69 [a]	0.09

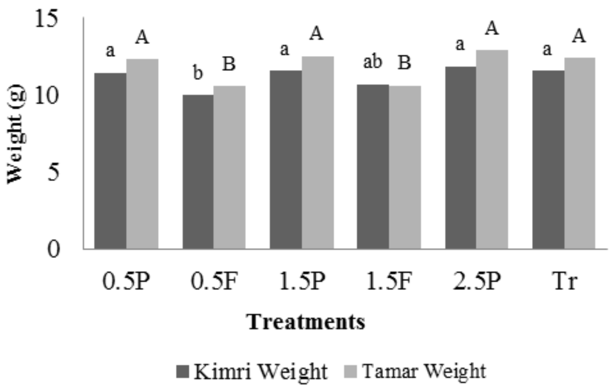
میانگین‌های نشان داده شده با حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم معنی‌داری میانگین‌ها است ($p<0.05$).

Mean values followed by the same letters within the column are not significantly different ($p<0.05$).

با توجه به اینکه بازده میوه‌نشینی تیمارهای 0.5P و 0.5F تفاوت معنی‌داری با تیمار سنتی نداشته، می‌توان گفت ۰/۵ گرم گرده برای تلقیح مناسب یک درخت کافی بوده است. در این صورت با در نظر گرفتن تعداد درختان نخل در هر هکتار (حدود ۱۲۰ نفر) در هر نوبت گرده‌پاشی ۶۰ گرم گرده و برای کل عملیات گرده‌پاشی ۱۸۰ گرم گرده در هکتار کافی است. این در حالی است که پرکینز (Perkins and Burkner, 1974) مقدار گرده لازم برای سه بار گرده‌پاشی با گرده‌پاش مکانیکی را ۷۵۴ گرم و مستعان (Mostaan, 2014) ۵۴۰ گرم ذکر کرده‌اند. این تفاوت فاحش در کنار تفاوت رقم‌ها و مناطق مورد آزمایش، ناشی از ماهیت گرده‌پاشی تاجی با سرعت مناسب است. چنانچه بخواهیم مانند دستگاه‌هایی که خروجی باریک دارند (Al-Rawi, 1988) خوشه‌ها را تک به تک تلقیح کنیم؛ گرده‌ای که می‌توانست روی کل تاج پخش شود روی یک خوشه تخلیه می‌گردد و این باعث بالا رفتن گرده‌ی مصرفی می‌گردد.

آنالیز وزن میوه‌ها در شکل ۸ آورده شده است. با اینکه میوه‌نشینی در تیمارهایی که از مخلوط گرده و آرد استفاده شده تفاوتی با تیمارهای دیگر نداشته است، وزن میوه در آنها پایین‌تر است. این مساله در هر دو تیمار مخلوط گرده و آرد تکرار شده است. حفار (Haffar *et al.*, 1997) در آزمایش روی رقم خلاص، وزن میوه‌ها را در نسبت گرده به آرد ۱:۵ بیشتر از نسبت ۱:۱۰ به‌دست آورده است

یعنی با افزایش آرد، وزن میوه‌ها کاهش یافته است. المرضی (ElMardi *et al.*, 2002) آزمایشاتی با گرده‌پاش دستی و موتوری با چهار نسبت گرده به آرد، روی رقم فرد انجام داده است. در گزارش وی بالاترین وزن میوه مربوط به نسبت ۱:۱۴ (بیشترین مقدار آرد) در گرده‌پاش موتوری و پایین‌ترین وزن میوه نیز مربوط به همین نسبت در گرده‌پاش دستی است. در مجموع با اطلاعات فعلی نمی‌توان دلیل قاطعی برای کم بودن وزن میوه‌ها در دو تیمار آردی ذکر کرد.



شکل ۸- مقایسه‌ی وزن میوه بین تیمارهای مورد آزمایش

Fig.8. Fruits weight comparison (different treatments)

نتیجه‌گیری

ارزیابی میدانی دستگاه گرده‌پاش مکانیکی بر روی ۱۸ درخت از رقم کبکاب در شش تیمار انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که گرده‌پاش ساخته شده در این پژوهش به دلیل استفاده از داکتدفن و بوم فیبر کربن و در نتیجه وزن قابل تحمل، می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای روش سنتی بارورسازی مورد استفاده قرار گیرد. گرده‌پاش ساخته شده قابلیت آن را دارد که کل تاج درخت را هم‌زمان پوشش دهد (روش گرده‌پاشی تاجی). در این آزمایشات مشخص گردید که با استفاده از این دستگاه با مصرف گرده‌ای به مراتب کمتر نسبت به سایر گرده‌پاش‌ها (یک سوم تا یک چهارم) می‌توان به عملکردی مشابه روش سنتی دست یافت. تصویربرداری الکترونی و اندازه‌گیری زاویه‌ی لغزش نشان داد که می‌توان از آرد ماکارونی به جای آرد سفید به‌عنوان پرکننده در تهیه‌ی مخلوط گرده و آرد بهره برد.

References

1. Al-Rawi, O. M. A. 1988. Date palm pollinator.US Patent No.4,751,791.
2. Al-Wusaibai, N. A., A. Ben Abdallah, M. S. Al-Husainai, H. Al-Salman, and M. Elballaj. 2012. A comparative study between mechanical and manual pollination in two premier Saudi Arabian date palm cultivars. Indian Journal of Science and Technology 5: 2487-2490.
3. Boumans, G. 1985. Developments in agricultural engineering 4: grain handling and storage: New York, NY: Elsevier Science Publishing Company, Inc.
4. Brown, G., R. Perkins, and E. Vis. 1970. Mechanical pollination experiments with the Deglet Noor date palm in 1960. Date Growers' Institute 47: 19-25.
5. Brown, R. M., and E. G. V. Perkins. 1972. Experiments with aircraft methods for pollinating dates. The Punjab Fruit Jurnal 119: 116-127.
6. Carpenter, J. 1981. Improvement of traditional date culture. The Date Palm 1: 1-17.
7. Dowson, V. H. M. 1982. Date production and protection with special reference to North Africa and the Near East. Rome, Italy: FAO. Report no. 35
8. El-Kassas, S. E., and H. M. Mahmoud. 1986. The possibility of pollinating date palm by diluted pollen. Pages 317-322.
9. ElMardi, M. O., H. Esechie, L. M. Ai-Kharousi, and K. M. Abdelbasit. 2002. Effect of pollination method on changes in physical and chemical characteristics of date fruit during development. Agricultural Sciences 7: 21-27.
10. Ghazanfari, M., M. Maharlooie, A. Shirzadifar, and M. Loghavi. 2012. Design, development and evauation of a pneumatic pollinator for reducing pollination time and improving man power and date production efficiency. in 7th conference of farm machinery engineering and mechanization. Shiraz University. (In Farsi).
11. Haffar, I. 1999. Design and performance testing of a micro-duster for date palm pollination. Applied Engineering in Agriculture 15: 267-271.

12. Haffar, I., H. AlJuburi, M. H. Ahmed. 1997. Effect of pollination frequency and pollen concentration on yield and fruit characteristics of mechanically pollinated date palm trees (*Phoenix dactylifera* var. Khalas). Journal of Agricultural Engineering Research 68: 11-14.
13. Khodabakhshian, R., and B. Emadi. 2016. Determination of ripeness stages of Mazafati variety of date fruit by Raman spectroscopy. Journal of Agricultural Machinery 6: 201-213. (In Farsi).
14. Loghavi, M. 1993. Development of a mechanical date pollinator. Agricultural Mechanization in Asia Africa And Latin America 24: 27-32.
15. Mostaan, A. 2014. Design and developmentof an electric date palm pollinator. Mechanical Science in Agricultural Machinery 1: 13 .(In Farsi).
16. Mostaan, A., S. S. Marashi, and S. Ahmadizadeh. 2010. Development of a new date palm pollinator. in 4th Int. Date Palm Conference. Abu Dhabi, United Arab Emirates.
17. Nielsen, S. S. 2010. Food analysis. Springer.
18. Perkins, R., and P. Burkner. 1974. Mechanical pollination of date palms. California Agriculture 28: 6-7.
19. Robinson, M. L., B. Brown, and C. Williams. 2012. The date palm in southern Nevada. The University of Nevada 23: 1-26.
20. Shafique, M., A. Khan, A. U. Malik, M. Shahid, I. A. Rajvana, B. A. Saleem, M. Amin, and E. Ahmad. 2011. Influence of pollen source and pollination frequency on fruit drop, yield and quality of date palm (*phoenix dactylifera* L.) CV. Dhakki. Pakistan Journal of Botany 43: 831-839.
21. Teeba.ae. 2017. teeba.ae. http://www.teeba.ae/pollenatomizerextractor.html.
22. Zaid, A., and P. F. De Wet. 1999. Date Palm Cultivation. FAO plant production and protection papers 156.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 427-438

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۴۳۸-۴۲۷

Structural and Performance Evaluation of a Pollen-duster, Designed for Date Farms

F. Akhavan[1]- S. Kamgar[2*]- A. A. Golneshan[3]

Received: 25-11-2017
Accepted: 27-05-2018

Introduction

Pollinating elevated date palms has been a challenging problem for many years. A few types of equipment have been designed and manufactured in the last fifty years, using either low pressure or compressed air to overcome this problem. However traditional pollination is still the most popular method in none-mechanized and small date farms. In the present research, a light portable electrical pollen-duster has been developed and tested.

Materials and Methods

A powerful ducted fan, equipped with a speed controller and a servo tester was made and installed on the top of a 6 -7.7m long carbon fiber boom, to provide a high volume rate of air flow for pollination. A small part of air flow is conducted through a by-pass tube to hit the pollen/pollen-flour blend in the pollen bin and suspend it. The rest of air flow, passing through a venturi, is responsible to provide a relative vacuum at the opening of pollen bin to pull up the suspended pollen and throw it toward the date palm crown. Although plain flour is traditionally used as filler in mechanical pollinators, however, SEM imaging showed that pasta flour particles are bigger than plain flour particles and are closer in size to pollen particles. Also, Repose angle of date pollen was measured as 38º where plain flour and pasta flour showed 44.9º and 40.7º respectively (figures 6 and 7). So, Pasta flour was used instead of plain flour to make a blend.

To provide a low-weight pollen-duster, wires extending from ducted fan to its actuating equipment (battery, servo tester, and speed controller) were selected to be a combination of 2.5mm^2 (3 meters) and 1.5mm^2 (3 meters) types in the standard boom. This lowered the applied force on the operator's hand by 33% (Figure 5 and equations 4 and 5).

Evaluation of the pollen-duster has been performed in Khoor town in Isfahan province of Iran. Eighteen trees of Kabkab variety were pollinated in a completely random test with 6 treatments (five mechanical treatments compared with traditional treatment). Mechanical treatments were using 0.5, 1.5 and 2.5g pure pollen and 2 and 6g pollen-flour blend (in 1:3 ratio) in each of the three weekly repetitions. After 8 weeks, in kimri stage, normal, abnormal (non- pollinated), and dropped fruits on some randomly selected strands were counted to determine pollination as well as fruit setting efficiencies. Fruits weight in each treatment was measured on some random fruits in the Tamar stage. A new index; called "pollen consumption index", was introduced to provide a measure of pollen consumption rate in order to prevent redundant pollen consumption which has no sensible effect on the yield.

Results and Discussion

Calculated pollination and fruit setting efficiencies did not show a significant difference in all treatments, convincing that the traditional method could be replaced by pollen-duster without any yield difference. It offers benefits of lower pollen consumption; more trees pollinated in a day and also safer pollination due to reducing number of trees climbing. It was also shown that a tree could be pollinated properly with 0.5g pollen, so each hectare of date farm (120 trees) needs almost 180g pollen for all three replications, almost 1/4 of Perkins consumption report and 1/3 of Mostaan for three replications. Fruits weights of two pollen-flour treatments were significantly lower than others. As there is not any report available on the effect of the presence of flour or concentration of pollen on date fruits weights, so with the available data no definite reasoning can be made.

1- PhD Student, Department of Biosystems Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Associate Professor, Department of Thermo-Fluids, School of Mechanical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
(*- Corresponding Author Email: kamgar@shirazu.ac.ir)

Conclusions

The developed pollen-duster could be used instead of the traditional date palm pollination method with the same fruit set and lower pollen consumption. The weight of the fruits in pollen-flour treatments `was lower than pure pollen and traditional treatments.

Keywords: Date palm, Fruit set, Pollen-duster